



CREACIÓN DE BANCOS DE GERMOPLASMA O “SEMILLAS” CON ALGAS LAMINARIAS PARA SU CONSERVACIÓN, RESTAURACIÓN ECOLÓGICA Y/O CULTIVO COMERCIAL

LAS GRANDES ALGAS MARINAS LLAMADAS LAMINARIAS FORMAN BOSQUES QUE TIENEN UNA GRAN IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y ECONÓMICA. ESTAS MACROALGAS EN LAS COSTAS ATLÁNTICAS ESTÁN PELIGRO DE DESAPARICIÓN POR EL IMPACTO DE DIVERSOS FACTORES DE ORIGEN NATURAL Y/O ANTRÓPICO. EN ESTE CONTEXTO, LOS BANCOS DE GERMOPLASMA O DE “SEMILLAS” DE LAMINARIAS (COLECCIONES DE LA FASE MICROSCÓPICA DE SU CICLO DE VIDA) [Foto 1] SON FUNDAMENTALES PARA ASEGURAR LA CONSERVACIÓN DE ESTAS MACROALGAS COMO EL FUTURO DESARROLLO DE PROGRAMAS RESTAURACIÓN DE SUS BOSQUES. EL DISPONER DE UN BANCO DE GERMOPLASMA CON ESPECIES IBÉRICAS DE LAMINARIAS NO SÓLO TIENE RELEVANCIA ECOLÓGICA SINO TAMBIÉN ECONÓMICA, YA QUE PUEDEN OBTENERSE PLÁNTULAS PARA SU CULTIVO. LA ACUICULTURA DE LAS LAMINARIAS, ADEMÁS DE SUMINISTRAR PRODUCTOS DE ALTO VALOR COMERCIAL, TENDRÍA TAMBIÉN IMPORTANTES BENEFICIOS AMBIENTALES, COMO REDUCIR EL DIÓXIDO DE CARBONO ATMOSFÉRICO O RECICLAR RESIDUOS INORGÁNICOS QUE SE VIERTEN AL MEDIO MARINO.



Foto 1. Botellones con gametófitos de laminarias que se mantienen en cultivo bajo condiciones ambientales específicas. Los gametófitos son filamentos con células de hasta de 20 micras que constituyen la fase microscópica del ciclo de vida de estas macroalgas (foto: César Peteiro / IEO).

ESTE ARTÍCULO DESCRIBE LA CREACIÓN DE UN BANCO DE GERMOPLASMA CON ALGAS LAMINARIAS EN BASE A LA EXPERIENCIA Y CONOCIMIENTOS DEL INSTITUTO ESPAÑOL DE OCEANOGRAFÍA (IEO). EL IEO ES LA ÚNICA INSTITUCIÓN DE INVESTIGACIÓN EN ESPAÑA QUE DISPONE DE UN BANCO DE GERMOPLASMA CON CEPAS IBÉRICAS DE LA LAMINARIA *SACCHARINA LATTISIMA* EN SU PLANTA DE CULTIVO DE ALGAS “EL BOCAL” DEL CENTRO OCEANOGRÁFICO DE SANTANDER.

GRANDES ALGAS MARINAS

Las laminarias, también conocidas con el nombre anglosajón de “kelp”, son las algas marinas de mayor tamaño [Foto 2] y presentan un alto valor ecológico y comercial. Sus especies forman bosques submareales sobre fondos rocosos en zonas litorales de hasta los 30 metros de profundidad que proporcionan hábitat, protección y alimento a una gran diversidad de organismos [Foto 3]. Estas macroalgas marinas son también los principales productores primarios en las comunidades bentónicas costeras, y de los cuales dependen en gran medida los niveles tróficos superiores. Además desempeñan funciones de suma importancia tales como el reciclaje de los nutrientes, conversión del dióxido de carbono en oxígeno y estabilización de los sedimentos del fondo marino. Los bosques de laminarias son, por ello, esenciales para asegurar el funcionamiento y mantenimiento de los ecosistemas marinos costeros en su conjunto, y para preservar la diversa fauna y flora que albergan (Steneck *et al.* 2002, Bartsch *et al.* 2008).

A parte de su relevancia ambiental, las algas laminarias constituyen también un recurso natural de gran importancia económica por su amplia variedad de usos y aplicaciones comerciales. Diferentes especies de laminarias (comercializadas con el nombre japonés de *kombu*) se utilizan para consumo humano directo desde tiempos ancestrales en países del sudeste asiático (Kawashima 1984). En Europa, su consumo es todavía incipiente, pero tiene

un gran potencial de desarrollo por su creciente demanda debido a sus excelentes propiedades nutricionales y de sabor (Burtin 2003). Las laminarias son además una materia prima que se utiliza mundialmente para la extracción de alginatos, unos polisacáridos complejos que tiene un amplio uso comercial por sus propiedades gelificantes, espesantes y estabilizantes. Su empleo es fundamental en la industria textil, alimentaria, farmacéutica, y papelera, entre otras, al no existir un equivalente sintético (Kraan 2012). Otros aprovechamientos de estas macroalgas son su uso como fertilizante y abono orgánico para la agricultura y como pienso en la alimentación animal (Craigie 2011, Evans & Critchley 2014). También se utiliza como forraje en el cultivo comercial de herbívoros marinos como el erizo y oreja de mar. Además, las laminarias han despertado recientemente un gran interés como una fuente de biomasa para la producción de bioetanol como biocarburante al contener un alto contenido de polisacáridos (hasta un 70% de su peso seco, Schiener *et al.* 2015). El proceso de conversión de las laminarias en bioetanol ha sido mejorado recientemente para su aplicación industrial (Adams *et al.* 2009, Kim *et al.* 2011, Wargacki *et al.* 2012, Cho *et al.* 2013, Wei *et al.* 2013).

Debido a que los recursos naturales de las algas laminarias son limitados e insuficientes para cubrir la demanda, desde los años 60 se cultiva extensivamente en el sudoeste asiático. En la actualidad su maricultura en Asia supone más del 80% de la producción mundial de laminarias al producir

CÉSAR PETEIRO¹, BELÉN CORTÉS¹, NINA LARISSA ARROYO², MANUEL GARCÍA-TASENDE³, ALBA VERGÉS⁴ Y BREZO MARTÍNEZ⁵

¹ Instituto Español de Oceanografía (IEO), Centro Oceanográfico de Santander, Planta de Cultivo de Algas “El Bocal”, Santander

² Empresa Investalga Ahti S.L., Santander

³ Xunta de Galicia, Consellería do Mar, Subdirección de Acuicultura, Santiago de Compostela

⁴ Universitat de Girona (UdG), Facultat de Ciències, Girona

⁵ Universidad Rey Juan Carlos (URJC), Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología, Mostoles, Madrid



anualmente unas 8 millones de toneladas (peso fresco) con un valor comercial de unos 1.200 millones de dólares (McHugh 2003, FAO 2014). En Europa, las laminarias se están empezando a cultivar de manera experimental o a pequeña escala en varios países debido a su demanda y alto valor comercial, como a los beneficios ambientales de su cultivo (Buck & Buchholz 2004, Sanderson *et al.* 2012, Handå *et al.* 2013, Marinho *et al.* 2015, Peteiro *et al.* 2016).



Foto 2. Comunidad submareal de algas laminarias en las costas atlánticas que constituyen bosques marinos donde habitan numerosas especies de fauna y flora (foto: César Peteiro / IEO)

PELIGROS Y AMENAZAS

El mantenimiento de los importantes valores ambientales y económicos de las laminarias depende de la conservación de sus poblaciones. Sin embargo, las grandes algas se encuentran actualmente amenazadas por el impacto de diversos factores de origen natural y/o antrópico. Algunos de los principales peligros que afectan a las especies y bosques de macroalgas son, a nivel local o regional, la destrucción de hábitats por la construcción, contaminación y explotación de sus poblaciones, y nivel global, los cambios o alteraciones en el medio ambiente relacionados con el cambio climático

(García-Tasende *et al.* 2015, Mineur *et al.* 2015). Por ejemplo, como consecuencia de la explotación comercial de los bosques de laminarias se puede producir la disminución o desaparición de las especies explotadas como la alteración o pérdida del hábitat que ocupan (Lorentsen *et al.* 2010, García-Tasende & Peteiro 2015). Por otra parte, los bosques de laminarias están amenazados por los impactos ambientales asociados al cambio climático. En las costas atlánticas europeas las especies de laminarias (p. ej. *Laminaria hyperborea*, *Laminaria ochroleuca* y *Saccharina latissima*) han sufrido durante la última década una fuerte disminución de sus poblaciones y/o una reducción substancial en su distribución que, entre otros factores ambientales, se relaciona con un aumento de la temperatura del mar (Raybaud *et al.* 2013, Yesson *et al.* 2015). Este declive también se ha observado en la Península Ibérica donde las laminarias han llegado a desaparecer total o parcialmente en las costas del Mar Cantábrico (Díez *et al.* 2012, Voerman *et al.* 2013).

CONSERVACIÓN EX SITU

La protección de los hábitats y especies se considera el mecanismo más eficiente para conservar la diversidad biológica a todos los niveles, así como de los recursos que supone un uso o beneficio para el hombre. Esta estrategia llamada de conservación *in situ* comprende tanto medidas de conservación de los hábitats, como de mantenimiento y recuperación de las especies en sus entornos naturales (Convención sobre la Diversidad Biológica: disponible en <https://www.cbd.int/>).

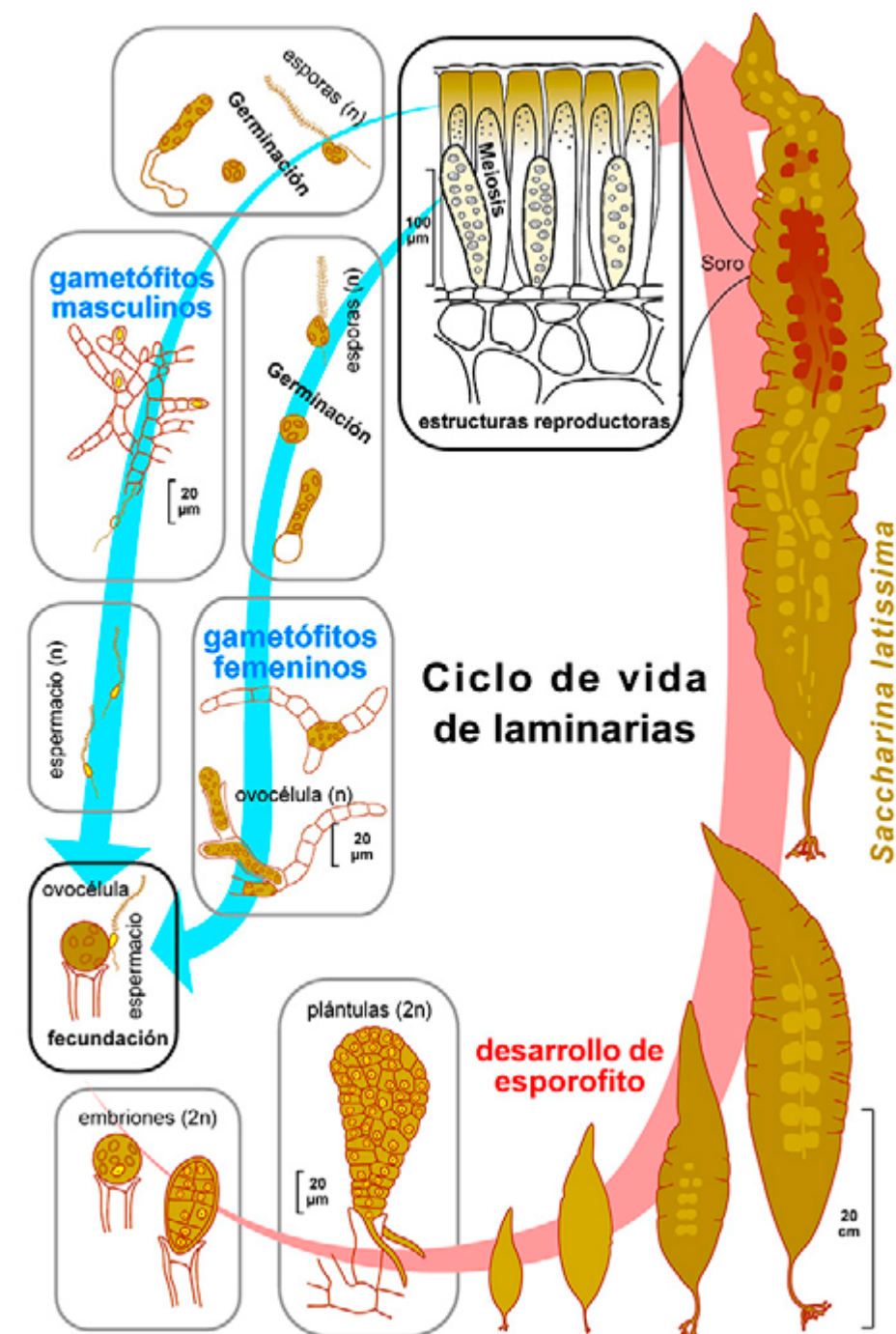


Foto 3. Detalle de una fronde adulta de la laminaria *Saccharina latissima* con su característica gran fronde o talo que forma bosques de gran valor ecológico en las costas atlánticas. Esta especie tiene además una amplia variedad de usos y aplicaciones comerciales (foto: archivo IEO).

Por ello debido a las constantes amenazas de origen natural y/o antropogénico que afectan a muchas especies vegetales, la conservación *in situ* se complementa con distintas formas de preservación de la biodiversidad fuera de su hábitat natural que se conocen como conservación *ex situ*. Esta estrategia de conservación *ex situ* consiste en mantener las especies fuera de su hábitat o entorno natural a partir de muestras biológicas representativas de su variabilidad genética que se conservan viables a través del tiempo en condiciones controladas. La conservación *ex situ* se puede realizar a partir de individuos completos o diferentes estructuras con capacidad reproductiva (p. ej. tejidos, semillas, bulbos, esporas, polen, células, etc.). A todas estas muestras representativas de una especie que puede dar origen a una nueva planta con todas sus características genéticas se les conoce con el nombre de germoplasma. Existen diferentes tipos de bancos de germoplasma según las muestras biológicas de vegetales que se mantengan, tales como bancos de campo, viveros o jardines botánicos donde se conservan individuos completos *in vivo*, y bancos de semillas, tejidos o células en lo que se mantienen estructuras con capacidad reproductiva en condiciones ambientales controladas. En la últimas décadas se han potenciado la creación de bancos de germoplasma con plantas como parte fundamental de las políticas de conservación de la biodiversidad, y en particular de especies o poblaciones que se encuentran en riesgo de desaparición (Iriando 2001, Bacchetta *et al.* 2008).



Foto 4. Ciclo de vida de las algas laminarias con una alternancia entre una fase microscópica (el gametófito) y una fase macroscópica (el esporófito). La creación de bancos de germoplasmas con estas macroalgas se hace a partir del cultivo de gametofitos (ilustración: Antonio Secilla y César Peteiro).



Sin embargo, hasta ahora no se ha impulsado en España la creación de bancos de germoplasma dedicados a la conservación de macroalgas marinas. En particular, esta conservación *ex situ* de las algas laminarias resulta esencial para asegurar la conservación de sus poblaciones que como hemos visto tienen una gran importancia ecológica y económica.

BANCO DE GERMOPLASMA DEL IEO

En la actualidad el Instituto Español de Oceanografía (IEO) es el único centro que desde los años 90 ha creado un banco de germoplasma con algunas especies comerciales de laminarias en su Planta de Cultivo de Algas "El Bocal" del Centro Oceanográfico de Santander. En sus colecciones se incluyen diferentes cepas de la laminaria *Saccharina latissima* con las que se preserva una adecuada diversidad genética de las poblaciones ibéricas, y a partir de las cuales se pueden obtener nuevos individuos viables (Peteiro 2015). El establecimiento del banco de germoplasma se hizo a partir del cultivo de la generación microscópica del ciclo de vida de estas grandes algas [Fotos 1 y 5]. Las laminarias tienen un ciclo biológico donde hay una alternancia entre una generación formada por filamentos microscópicos (llamado gametófito por producir gametos) y una generación formada por una fronde de varios metros de longitud (conocida como esporófito porque a su vez produce esporas) [Foto 4]. La fase microscópica, gametófito, es una fase especialmente adecuada para la conservación *ex situ* al actuar en la práctica como una semilla que puede

mantenerse *in vivo* por tiempo indefinido bajo condiciones ambientales adecuadas y en un espacio relativamente pequeño. Motivo por el que comúnmente se conoce al banco de germoplasma con gametófitos de laminarias como un banco de "semillas". El mantenimiento de los cultivos de gametófitos de laminarias, obtenidos a partir de esporas producidas por esporófitos maduros (grandes frondes), se realiza dentro de botellones que contienen agua de mar enriquecida con nutrientes y que se conservan en cámaras bajo condiciones específicas de temperatura, luz y con burbujeo [Foto 5]. El mantenimiento de estos cultivos requiere distintas labores y operaciones, entre ellas cambiar los medios nutritivos del cultivo, desdoblarlo para que su densidad sea siempre óptima y controlar los parámetros ambientales y biológicos [Foto 6].

RELEVANCIA AMBIENTAL Y ECONÓMICA

Este banco de germoplasma con la laminaria *Saccharina latissima* tiene un gran interés ecológico y comercial porque sus colecciones pueden proporcionar nuevo individuos para la restauración o repoblación de zonas costeras degradadas y para el desarrollo de su maricultura con importantes beneficios industriales y ambientales (Peteiro & Freire 2013, Peteiro *et al.* 2014). Las restauración de bosques de laminarias ha sido experimentado con éxito en otras partes del mundo (Kim *et al.* 2012, Vasquez *et al.* 2014). La técnica que se emplean son básicamente la siembra de pequeñas plántulas producidas en laboratorio o el trasplante de individuos jóvenes o adultos que se fijan un sustrato anclado al

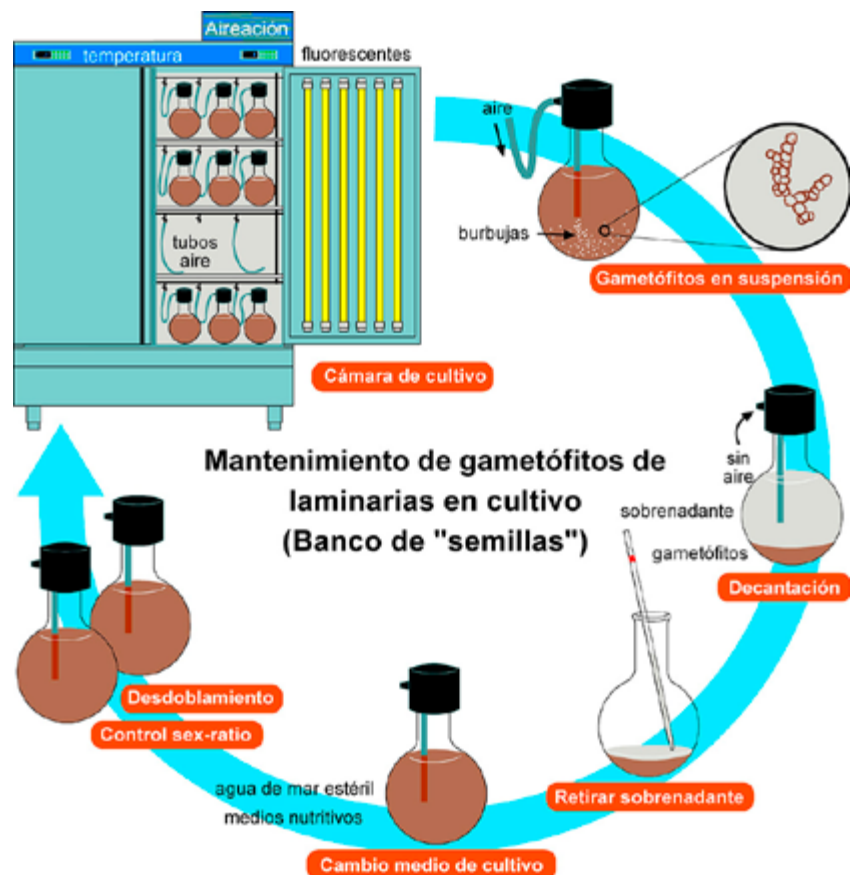
fondo. El trasplante de individuos jóvenes de *S. latissima* ha sido demostrado como viable por el IEO en las costas atlánticas en ensayos de cultivo en mar donde se ha comprobado la capacidad de esta laminaria para anclarse de nuevo a un sustrato a través de su sistema de fijación (Peteiro *et al.* 2014). Respecto al cultivo de *Saccharina latissima* ha sido desarrollado y optimizado para uso comercial por IEO en colaboración con la Universidad de A Coruña (Peteiro & Freire 2013, Peteiro *et al.* 2014, Peteiro 2015, Peteiro *et al.* 2016). Su maricultura es plenamente viable por los altos valores de producción obtenidos (16 kg peso húmedo por metro lineal de cultivo) y las numerosas e importantes aplicaciones industriales que tiene esta especie. El IEO dispone de la tecnología e instalaciones necesarias en su Planta de Cultivo de Algas del Centro Oceanográfico de Santander para el cultivo



Foto 5. Gametófitos de laminarias cultivados en botellones dentro de cámaras de simulación ambiental (foto: Antonio Secilla / IEO).



Foto 6. Esquema del mantenimiento en un banco de germoplasma o "semillas" de algas laminarias a partir del cultivo en botellones de su fase microscópica del ciclo vital (gametófito) que se conservan en cámaras de simulación ambiental (ilustración: Antonio Secilla y César Peteiro).



integral de esta laminaria a escala comercial, que incluye tanto la producción de hilo de plántulas en laboratorio a partir de su banco de germoplasma como el desarrollo de su cultivo en mar o en tierra.

La maricultura de laminarias, tendría importantes beneficios ambientales ya que las macroalgas en su crecimiento utilizan dióxido de carbono y nutrientes del medio marino, de modo que contribuyen a reducir el carbono atmosférico y los residuos inorgánicos del medio marino. Particularmente, el uso de cultivos de macroalgas es

de gran interés para el desarrollo de una acuicultura sostenible al absorber parte de residuos inorgánicos que produce el cultivo de peces y moluscos. Esta asociación de organismos con diferentes niveles tróficos o nutricionales constituye un sistema de policultivo integrado, conocido como acuicultura multitrófica integrada (Buschmann *et al.* 2013) [Fotos 7 y 8].

Por otra parte, la conservación de las laminarias peninsulares como *Saccharina latissima* que se encuentran en su límite de distribución sur, tendría un importante

valor ecológico a nivel europeo porque esta especie está desapareciendo en las costas atlánticas del norte debido a los cambios ambientales asociados al cambio climático, y en particular al calentamiento de las aguas (Bekkby & Moy 2011, Andersen *et al.* 2013). Y las poblaciones de *Saccharina latissima* que se encuentran en el sur de su distribución se ha demostrado que tienen una mayor tolerancia a altas temperaturas que las poblaciones del norte (Heinrich *et al.* 2012, Olischläger *et al.* 2014). Estas adaptaciones locales o cepas de laminarias que presentan una

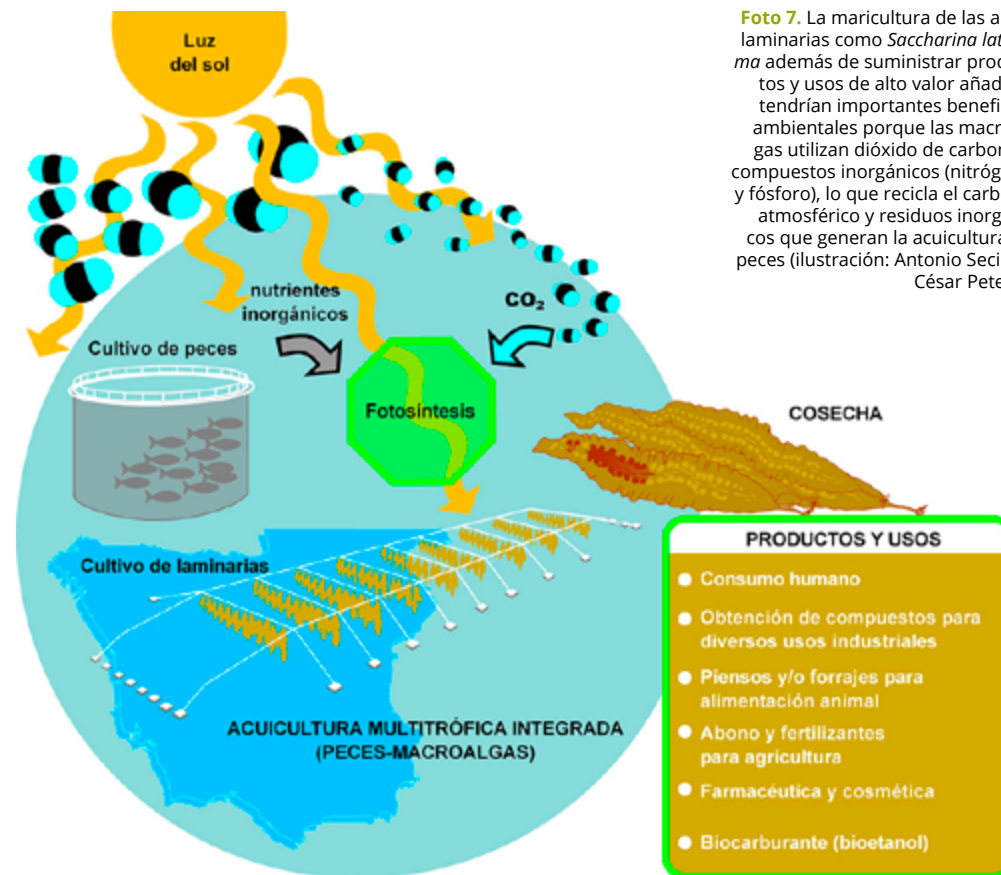


Foto 7. La maricultura de las algas laminarias como *Saccharina latissima* además de suministrar productos y usos de alto valor añadido, tendrían importantes beneficios ambientales porque las macroalgas utilizan dióxido de carbono y compuestos inorgánicos (nitrógeno y fósforo), lo que recicla el carbono atmosférico y residuos inorgánicos que generan la acuicultura de peces (ilustración: Antonio Secilla y César Peteiro).



Foto 8. Experiencia de cultivo de laminarias a escala comercial en el norte de España (foto: archivo IEO)

mayor resistencia a altas temperaturas, tendrían importantes usos ecológicos y comerciales para repoblaciones y cultivos en el actual escenario de calentamiento global (Liu & Pang 2010).

AMPLIACIÓN A OTRAS ESPECIES

En este contexto, los bancos de germoplasma o reservorios de laminarias ibéricas a partir de sus formas de vida microscópica (los gametófitos) es fundamental para la conservación de sus especies y poblaciones, así como para actuaciones de restauración ecológica o de cultivo. Actualmente se pretende que un futuro el banco de germoplasma del IEO en Santander pueda ampliarse a otras especies de laminarias e incluso u otras macroalgas amenazadas y/o interés comercial al contar ya con una instalaciones y medios únicos en su Planta de Cultivo de Algas del Centro Oceanográfico de Santander, y tener amplia experiencia y conocimientos específicos para su desarrollo. Pero para ello es necesario el apoyo económico de administraciones públicas y privadas que permita consolidar un futuro banco de germoplasma de laminarias ibéricas en el IEO como referente nacional para la conservación, restauración ecológica, cultivo comercial de estas macroalgas.◀



BIBLIOGRAFÍA

•Adams J.M., Gallagher J.A. & Donnison I.S. (2009). *Fermentation study on Saccharina latissima for bioethanol production considering variable pre-treatments*. Journal of Applied Phycology 21: 569–574.

•Andersen G.S. (2013). *Patterns of Saccharina latissima recruitment*. Plos One 8(12): e81092.

•Bacchetta G., Bueno Sánchez A., Fenu G., Jiménez-Alfaro B., Mattana E., Piotto B. & Virevaire M. (2008). *Conservación ex situ de plantas silvestres*. Obra Social "la Caixa", Principado de Asturias.

♦ Bartsch I., Wiencke C., Bischof K., Buchholz C.M., Buck B.H., Eggert A., Feuerpfeil P., Hanelt D., Jacobsen S., Karez R., Karsten U., Molis M., Roleda M.Y. & Schubert H. (2008). *The genus Laminaria sensu lato: recent insights and developments*. European Journal of Phycology 43(1): 1–86.

•Bekkby T. & Moy F.E. (2011). *Developing spatial models of sugar kelp (Saccharina latissima) potential distribution under natural conditions and areas of its disappearance in Skagerrak*. Estuarine Coastal and Shelf Science 95(4): 477–483.

•Buschmann A.H., Stead R.A., Hernández-González M.C., Pereda S.V. (2013). *Un análisis crítico sobre el uso de macroalgas como base para una acuicultura sustentable*. Revista Chilena de Historia Natural, 86: 251–264.

•Buck B.H. & Buchholz C.M. (2004). *The offshore-ring: a new system design for the open ocean aquaculture of macroalgae*. Journal of Applied Phycology 16: 355–368.

•Burtin P. (2003). *Nutritional value of seaweeds*. Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry 2(4): 498–503.

•Craigie J.S. (2011). *Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture*. Journal of Applied Phycology 23(3): 371–393.

•Cho Y., Kim H. & Kim S.-K. (2013). *Bioethanol production from brown seaweed, Undaria pinnatifida, using NaCl acclimated yeast*. Bioprocess and Biosystems Engineering 36(6): 713–719.

•Díez I., Muguerza N., Santolaria A., Ganzedo U. & Gorostiaga J.M. (2012). *Seaweed assemblage changes in the eastern Cantabrian Sea and their potential relationship to climate change*. Estuarine Coastal and Shelf Science 99: 108–120.

•Evans F.D. & Critchley A.T. (2014). *Seaweeds for animal production use*. Journal of Applied Phycology 26(2): 891–899.

•FAO (2014). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma.

•García-Tasende M., Martínez B. & Peteiro C. (2015). *Macroalgas nas costas galegas: actuais e potenciais ameazas das súas poboacións*. Revista Cerna nº 74: 12–15.

•García-Tasende M. & Peteiro C. (2015). *Explotación de las macroalgas marinas: Galicia como caso de estudio hacia una gestión sostenible de los recursos*. Revista Ambienta nº 111 / Junio: 116–132.

•Handå A., Forbord S., Wang X., Broch O.J., Dahle S.W., Størseth T.R., Reitan K.I., Olsen Y. & Skjermo J. (2013). *Seasonal- and depth-dependent growth of cultivated kelp (Saccharina latissima) in close proximity to salmon (Salmo salar) aquaculture in Norway*. Aquaculture 414/415: 191–201.

•Heinrich S., Valentin K., Frickenhaus S., John U. & Wiencke C. (2012). *Transcriptomic analysis of acclimation to temperature and light stress in Saccharina latissima (Phaeophyceae)*. Plos One 7(8): e44342.

•Iriondo J.M. (2001). *Conservación de germoplasma de especies raras y amenazadas*. Investigación Agraria: Producción y Protección Vegetal 16(1): 5–24.

•Kawashima S. (1984). *Kombu cultivations in Japan for human foodstuff*. Japanese Journal of Phycology 32: 379–394.

•Kim N.-J., Li H., Jung K., Chang H.N. & Lee P.C. (2011). *Ethanol production from marine algal hydrolysates using Escherichia coli KO11*. Bioresource Technology 102(16): 7466–7469.

•Kim Y.-D., Hong J.-P., Song H.-I., Park M.S., Moon T.S. & Yoo H.I. (2012). *Studies on technology for seaweed forest construction and transplanted Ecklonia cava growth for an artificial seaweed reef*. Journal of Environmental Biology 33(5): 969–975.

•Kraan S. (2012). *Algal polysaccharides, novel applications and outlook*. In: Carbohydrates: comprehensive studies on glycobiology and glycotechnology. (Chang C.-F., ed.) pp. 489–532. InTech.

•Liu F. & Pang S.J. (2010). *Performances of growth, photochemical efficiency, and stress tolerance of young sporophytes from seven populations of Saccharina japonica (Phaeophyta) under short-term heat stress*. Journal of Applied Phycology 22(2): 221–229.

•Loretsen S.-H., Sjøtun K. & Gremillet D. (2010). *Multi-trophic consequences of kelp harvest*. Biological Conservation 143(9): 2054–2062.

•Marinho G.S., Holdt S.L., Birkeland M.J. & Angelidaki I. (2015). *Commercial cultivation and bioremediation potential of sugar kelp, Saccharina latissima, in Danish waters*. Journal of Applied Phycology 27(5): 1963–1973.

•McHugh D.J. (2003). *A guide to the seaweed industry*. FAO Fisheries Technical Paper No. 441, Rome.

•Mineur F., Arenas F., Assis J., Davies A.J., Engelen A.H., Fernandes F., Malta E.-j., Thibaut T., Van Nguyen T., Vaz-Pinto F., Vranken S., Serrão E.A. & De Clerck O. (2015). *European seaweeds under pressure: Consequences for communities and ecosystem functioning*. Journal of Sea Research 98: 91–108.

•Olischläger M., Iñiguez C., Gordillo F.J.L. & Wiencke C. (2014). *Biochemical composition of temperate and Arctic populations of Saccharina latissima after exposure to increased pCO2 and temperature reveals ecotypic variation*. Planta 240(6): 1213–1224.

•Peteiro C. & Freire Ó. (2013). *Biomass yield and morphological features of the seaweed Saccharina latissima cultivated at two different sites in a coastal bay in the Atlantic coast of Spain*. Journal of Applied Phycology 25(1): 205–213.

•Peteiro C., Sánchez N., Dueñas-Liaño C. & Martínez B. (2014). *Open-sea cultivation by transplanting young fronds of the kelp Saccharina latissima*. Journal of Applied Phycology 26(1): 519–528.

•Peteiro C. (2015). *Open-sea cultivation of commercial kelps in the Atlantic coast of southern Europe*. Universidad Rey Juan Carlos (URJC), Madrid.

•Peteiro C., Sánchez N. & Martínez B. (2016). *Mariculture of the Asian kelp Undaria pinnatifida and the native kelp Saccharina latissima along the Atlantic coast of southern Europe: An overview*. Algal Research 15: 9–23.

•Raybaud V., Beaugrand G., Goberville E., Delebecq G., Destombe C., Valero M., Davault D., Morin P. & Gevaert F. (2013). *Decline in kelp in west Europe and climate*. Plos One 8(6): e66044.

•Sanderson J.C., Dring M.J., Davidson K. & Kelly M.S. (2012). *Culture, yield and bioremediation potential of Palmaria palmata (Linnaeus) Weber & Mohr and Saccharina latissima (Linnaeus) C.E.Lane, C.Mayes, Druehl & G.W.Saunders adjacent to fish farm cages in north west Scotland*. Aquaculture 354: 128–135.

•Schienner P., Black K.D., Stanley M.S. & Green D.H. (2015). *The seasonal variation in the chemical composition of the kelp species Laminaria digitata, Laminaria hyperborea, Saccharina latissima and Alaria esculenta*. Journal of Applied Phycology 27(1): 363–373.

•Steneck R.S., Graham M.H., Bourque B.J., Corbett D., Erlandson J.M., Estes J.A. & Tegner M.J. (2002). *Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future*. Environmental Conservation 29(4): 436–459.

•Vasquez X., Gutierrez A., Buschmann A.H., Flores R., Farias D. & Leal P. (2014). *Evaluation of repopulation techniques for the giant kelp Macrocystis pyrifera (Laminariales)*. Botanica Marina 57(2): 123–130.

•Voerman S.E., Llera E. & Rico J.M. (2013). *Climate driven changes in subtidal kelp forest communities in NW Spain*. Marine Environmental Research 90: 119–127.

•Wargacki A.J., Leonard E., Win M.N., Regitsky D.D., Santos C.N.S., Kim P.B., Cooper S.R., Raisner R.M., Herman A., Sivitz A.B., Lakshmanaswamy A., Kashiyama Y., Baker D. & Yoshikuni Y. (2012). *An engineered microbial platform for direct biofuel production from brown macroalgae*. Science 335(308): 308–313.

•Wei N., Quartermann J. & Jin Y.S. (2013). *Marine macroalgae: an untapped resource for producing fuels and chemicals*. Trends in Biotechnology 31(2): 70–77.

•Yesson C., Bush L.E., Davies A.J., Maggs C.A. & Brodie J. (2015). *Large brown seaweeds of the British Isles: Evidence of changes in abundance over four decades*. Estuarine Coastal and Shelf Science 155: 167–175.